

02P00787



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 49 405 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 06 T 5/00

⑲ Aktenzeichen: 100 49 405.6
⑳ Anmeldetag: 5. 10. 2000
㉑ Offenlegungstag: 3. 5. 2001

DE 100 49 405 A 1

③③ Unionspriorität:
415409 08. 10. 1999 US

⑦① Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

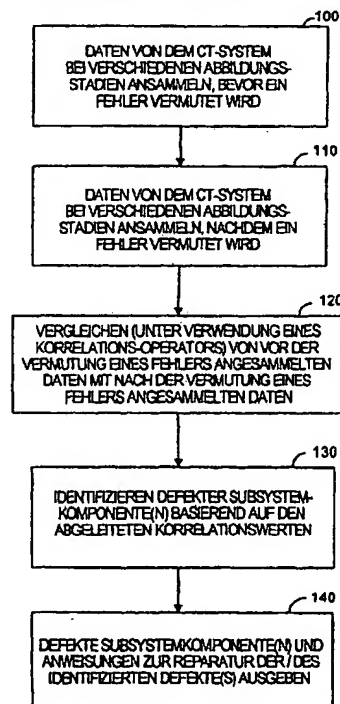
⑦④ Vertreter:
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑦② Erfinder:
Ramani, Vipani K., Niskayuna, N.Y., US; Shah,
Resiklal Punjalal, Latham, N.Y., US; Edic, Peter
Michael, Albany, N.Y., US; Gura, Shankar
Visvanathan, New York, N.Y., US; Alyassin,
Abdalmajeid Musa, Albany, N.Y., US; Dusing,
Randal, Mukwongo, Wis., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren und System zur Diagnose von Fehlern bei bildgebenden Abtasteinrichtungen

⑤⑦ Es wird ein Diagnosesystem zur Identifizierung von Fehlern bei einem Nicht-OEM-Computertomografiesystem mit einer Anzahl von Ausgangssignale erzeugenden Detektoren und anderen Komponenten in Verbindung mit den Detektoren zur Rekonstruktion eines Bilds aus den Ausgangssignalen der Detektoren bereitgestellt. Basisreferenzdatendateien werden bei verschiedenen Abbildungsstadien angesammelt, während das CT-System richtig arbeitet. Daraufhin werden Korrelationswerte abgeleitet, indem eine Korrelationsoperation zwischen den Basisreferenzdatendateien und nach Vermutung eines Fehlers bei dem CT-System angesammelten derzeitigen Datendateien ausgeführt wird. Die Korrelationswerte werden zur Identifizierung von einem Defekts verdächtigen Detektoren mit einer Schwelle verglichen. Zur Bestimmung, ob die verdächtigen Detektoren tatsächlich fehlerhaft sind oder ob das Problem von einem Defekt bei einer der die Ausgangssignale von den verdächtigen Detektoren nicht richtig verarbeitenden Komponenten verursacht wird, wird ein Mustererkennungsalgorithmus auf die verdächtigen Detektoren angewendet. Falls keine Basisstandarddatendateien verfügbar sind, wird die Identifizierung fehlerhafter Komponenten durch Ausführung einer Korrelationsoperation zwischen den derzeitigen Datendateien und durchschnittlichen Profilwerten erreicht, wobei jeder durchschnittliche Profilwert durch Durchschnittsbildung bei Intensitätssignalwerten aller Detektoren bei jedem jeweiligen Profil abgeleitet wird.



DE 100 49 405 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft im allgemeinen Systeme zur Diagnose von Abbildungsabtasteinrichtungen bzw. bildgebenden Abtasteinrichtungen und insbesondere ein System zur Diagnose von Fehlern bei bildgebenden Abtasteinrichtungen ohne Verwendung proprietärer Diagnoseinformationen.

Krankenhäuser und andere medizinische Einrichtungen verwenden eine Vielfalt von bildgebender Abtasteinrichtungsausstattung einschließlich Computertomografieabtasteinrichtungen (CT-Abtasteinrichtungen), Kernspintomografiesystemen (MR-Systemen) und Röntgengeräten zur Erzeugung von Bildern innerer Teile untersuchter Patienten. Diese bildgebenden Abtasteinrichtungen werden von verschiedenen Herstellern wie beispielsweise General Electric, Picker, Phillips usw. hergestellt. In vielen Fällen werden medizinische bildgebende Abtasteinrichtungen von Wartungsfirmen gewartet, die nicht in direkter Verbindung mit dem Hersteller der gewarteten Ausstattung stehen. Bei solchen Wartungsvereinbarungen entfernt der ursprüngliche Hersteller des bildgebenden Systems häufig alle Werkzeuge einschließlich proprietärer Diagnosesoftwareprogramme aus dem bildgebenden System, die zur Unterstützung der Wartung seiner Ausstattung verwendet werden. Dies überläßt der Wartungsfirma die schwierige Aufgabe, eine Wartung medizinischer bildgebender Ausstattung zu versuchen, ohne Zugriff auf die zur Wartung solcher Ausstattung erforderlichen proprietären Informationen zu haben. Da medizinische bildgebende Ausstattung äußerst kompliziert und verwickelt ist, ist eine Wartung dieser Maschinen äußerst schwierig, wenn keine Diagnosewerkzeuge verfügbar sind.

Somit gibt es einen speziellen Bedarf an einem Diagnosesystem, das zur Identifizierung von Problemen bei bildgebenden Abtasteinrichtungen in der Lage ist, ohne Zugriff auf die proprietären Diagnosesoftwareprogramme zu haben.

Die vorliegende Erfindung ist auf ein Verfahren und System zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden System wie beispielsweise einer Nicht-Fabrikabnehmer-Abtasteinrichtung (Nicht-OEM-Abtasteinrichtung) mit einer Anzahl von Detektoren, die die Intensität auf sie auftreffender Strahlung darstellende Intensitätsmeßsignale erzeugen, und einer Anzahl von Subsystemkomponenten, die zur Rekonstruktion von Bildern aus den empfangenen Detektorsignalen mit den Detektoren verbunden sind, gerichtet. Das vorliegende Diagnosesystem sammelt eine Datendateiausgabe von zumindest einer der Komponenten an und verwendet die angesammelte Datendatei zur Identifizierung möglicher fehlerhafter Detektoren und anderer fehlerhafter Subsystemkomponenten. Die Identifizierung fehlerhafter Detektoren und fehlerhafter Subsystemkomponenten kann erreicht werden, indem eine Korrelationsoperation bei der nach Vermutung eines Fehlers angesammelten derzeitigen Datendatei durchgeführt wird. Die durch die Korrelationsoperation abgeleiteten Korrelationswerte werden zur Identifizierung, welche Detektoren und Subsystemkomponenten fehlerhafter Operationen verdächtigt werden, verwendet.

Die vorliegende Erfindung ist nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein Flußdiagramm, das die mit der Diagnose eines bildgebenden CT-Systems gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verbundenen allgemeinen Schritte veranschaulicht.

Fig. 2 zeigt ein Flußdiagramm, das die mit der Diagnose eines bildgebenden CT-Systems gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verbundenen allgemeinen Schritte veranschaulicht.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild, das einen Datenfluß bei einem bildgebenden CT-System veranschaulicht.

Fig. 4 zeigt eine Ansicht einer von dem Diagnosesystem der vorliegenden Erfindung angezeigten Benutzerschnittstelle.

Eine Vielfalt von bildgebenden Systemen wie beispielsweise Computertomografieabtasteinrichtungen, Kernspintomografiesystemen (MR-Systemen) und Röntgengeräten wird in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen zur Bereitstellung von Bildern innerer Teile verwendet. Die Erfindung ist auf ein Diagnosesystem zur Identifizierung defekter Subsystemkomponenten bei bildgebenden Systemen gerichtet.

Unter Bezugnahme auf Fig. 3 ist eine Anzahl von ersetzbaren Subsystemkomponenten eines bildgebenden Computertomografiesystems (CT-Systems) gezeigt, unter denen jede in Gefahr ist, daß Defekte bei ihr auftreten. Das bildgebende CT-System umfaßt eine Strahlungsquelle wie beispielsweise einen Röntgenstrahlgenerator, die einen Fächerstrahl von Strahlung projiziert. Der Fächerstrahl geht durch einen untersuchten Patienten hindurch und trifft auf einen Abschnitt von Detektoren 300. Jeder Detektor erzeugt Ausgangssignale, die zu der Intensität der auf den Detektor auftreffenden Röntgenstrahlung proportional sind, wobei die Intensität Strahlungsabsorptions- oder -durchlässigkeitseigenschaften des Patienten angibt. Die Ausgangssignale 316 werden daraufhin zur Rekonstruktion eines Bilds über die von dem abtastenden Röntgenfächerstrahl definierte anatomische Ebene zu einer Anzahl von Elektronikkomponenten übertragen. Jede Komponente empfängt Daten von einer einem vorherigen Stadium der Abbildungskette entsprechenden vorherigen Komponente und verarbeitet die empfangenen Daten zur Erzeugung neuer Daten, die von einer nachfolgenden Komponente verwendet werden. Im allgemeinen werden die Ausgangssignale 316 von den Detektoren gesammelt, normalisiert, wegen der Mehrfarbigkeit (polychromaticity) des Röntgenstrahls korrigiert und gefiltert, bevor ein tatsächliches Bild rekonstruiert wird.

Zur Erleichterung der Beschreibung und als veranschaulichendes Beispiel ist das Diagnosesystem hinsichtlich eines bildgebenden CT-Systems der vierten Generation und genauer für von Picker hergestellte bildgebende CT-Systeme, d. h. IQ- und PQ-Modelle, beschrieben. Es ist jedoch selbstverständlich, daß das erfindungsgemäße Diagnosesystem unabhängig von dem Hersteller auf jede Art von bildgebendem Abtasteinrichtungssystem angewendet werden kann, wenn ein Zugriff auf Daten bei Zwischenstadien des Abbildungsprozesses verfügbar ist. Bei einigen der vorhandenen bildgebenden CT-Systeme der vierten Generation werden viele Detektoren verwendet, d. h. in der Größenordnung von 1200 und 4800 Detektoren, die in einer stationären Ringkonfiguration angeordnet sein können. Die bildgebenden CT-Systeme der vierten Generation umfassen ferner einen Röntgenstrahlgenerator, der bei einem sich drehenden Abtastrahmen untergebracht sein kann. Die Winkelorientierung des Abtastrahmens wird mit Bezug auf den stationären Detektorring zu einer Anzahl verschiedener Abtastrahmenwinkel erhöht, d. h. in der Größenordnung von 120 verschiedenen Winkelpositionen. Bei jedem Abtastrahmenwinkel werden Intensitätsmessungen von jedem der Detektoren gewonnen. Auf diesen Satz von Intensitätsmeßdaten bei einem Abtastrahmenwinkel wird als ein "Profil" Bezug genommen. Zur Erzeugung eines tomografischen Profilsatzes wird eine Anzahl von Profilen entlang verschiedener Abtastrahmenwinkel gesammelt. Der tomografische Profilsatz wird später zur Rekonstruktion eines Querschnittsbilds der Ebene verwendet, durch die die Fächerstrahlen hindurchgehen.

Zusätzlich zu den Detektoren umfaßt das bildgebende

BEST AVAILABLE COPY

CT-System ferner eine Anzahl von Subsystemkomponenten in Verbindung mit den Detektoren, wobei jede der Komponenten einem der Bildrekonstruktionsstadien zugeordnet ist. Die Bildrekonstruktion beginnt mit Spannung-Frequenz-Signalkonditionierungsplatinen (VFSC-Platinen) 302. Die VFSC-Platinen 302 empfangen die analogen Ausgangssignale 316 von der regelmäßigen Anordnung von Detektoren 300 und digitalisieren die Detektorsignale und geben sie in Form von 16-Bit-Worten über ein Abtasteinrichtungsschnittstellenkabel zu Abtasteinrichtungsschnittstellenplatinen (SIF-Platinen) 304 aus. Die Hauptfunktion der SIF-Platine 304 besteht darin, Daten zu speichern, wie sie empfangen werden, und zur schnelleren Bewegung über eine Multibus-II-Rückwandplatine (multibus II backplane) bei einer Benutzerkonsole die 16-Bit-Worte in 32-Bit-Worte neu zu formatieren. Eine Nachrichtendurchgangsspeicherplatine (MPMB-Platine) 306 empfängt Quellenfächerdaten (SRCF-Daten) 320 von der SIF-Platine und dient dazu, die SRCF-Daten in Erfassungsfächerdaten (DETF-Daten) 322 umzuordnen (shuffle). Die DETF-Daten 322 werden daraufhin zu Array-Prozessor-Platinen (AP-Platinen) 308 übertragen, die die DETF-Daten 322 korrigieren und filtern. Rückprojektoren (back projectors) 310 projizieren von den AP-Platinen 308 empfangene gefilterte DETF-Daten 324 unter Verwendung eines Pipelinearchitekturdatenflußformats zurück. Als nächstes wandelt eine Anzeigeplatine 312 digitale zusammengerollte Daten 326 von den Rückprojektoren 310 in analoge Bildsignale 328 zur Anzeige auf einem Anzeigemonitor 314.

Bei jedem der vorstehend angeführten Detektoren und/oder Tochterkarten besteht die Gefahr, daß Defekte auftreten; z. B. ist es möglich, daß einer oder mehrere der Detektoren defekt sein können und keine bedeutungsvollen Intensitätsmessungen mehr erzeugen. Es ist auch möglich, daß eine der Komponenten 302-312 zur Rekonstruktion von Bildern bis zu dem Punkt defekt sein kann, bei dem die Ausgaben 318-328 einer solchen Komponente ungenau oder unzuverlässig sein können. Zur Erzeugung genauer Bilder innerer Teile untersuchter Patienten ist es wichtig, ein Diagnosesystem zur Erleichterung der Identifizierung fehlerhafter Komponenten von bildgebenden CT-Systemen und Unterweisung von Außendiensttechnikern in einer geeigneten Handlungsweise bereitzustellen. Das Diagnosesystem der Erfindung analysiert zur Bereitstellung einer Liste möglicher fehlerhafter Komponenten bei der Ausgabe einer oder mehrerer der Subsystemkomponenten angesammelte Daten. Typischerweise berücksichtigen bildgebende CT-Systeme eine Ansammlung von von jeder vorstehend beschriebenen einzelnen Komponente ausgegebenen Datendateien. Unter dem Ausdruck "Datendatei" wird verstanden, daß auf einen zur Erzeugung eines Querschnittbilds erforderlichen vollständigen Satz von bei verschiedenen Abtastwinkeln angesammelten Profilen Bezug genommen wird, wobei jedes jeweilige Profil die verarbeiteten Ausgangssignale von jedem einzelnen Detektor bei einem speziellen Abtastwinkel umfaßt.

Unter Bezugnahme auf Fig. 1 ist ein die mit dem erfindungsgemäßen Diagnosesystem verbundenen allgemeinen Schritte veranschaulichendes Flußdiagramm gezeigt. In einem Schritt 100 werden Basisreferenzdatendateien bei einem oder mehreren der Abbildungsstadien angesammelt, während das CT-System richtig funktioniert. Vor der Ansammlung der Basisdatendateien wird das bildgebende CT-System vorzugsweise auf vorbestimmte Einstellungen eingestellt, d. h. Scheibendicke, Röhrenspannung und Röhrenstrom. Die Basisdatendateien können gewonnen werden, indem ein nahe dem Zentrum des Blickfelds für eine Axialabtastung auf dem Portaltisch angeordnetes Kalibrationsphan-

tom verwendet wird. Das Kalibrationsphantom wird typischerweise mit Kalibrationsroutinen zur Kalibration des CT-Systems verwendet und kann z. B. zylindrisch und mit einem Material bekannter Dichte wie beispielsweise Wasser gefüllt sein.

Nachdem ein Fehler bei dem bildgebenden System vermutet wird, werden in einem Schritt 110 unter Verwendung des gleichen Kalibrationsphantoms mit dem auf die gleichen Einstellungen wie die in dem Schritt 100 verwendeten Einstellungen eingestellten bildgebenden System derzeitige Datendateien bei verschiedenen Abbildungsstadien angesammelt. In dieser Hinsicht können die vor und nach dem vermuteten Defekt angesammelten Datendateien zur Identifizierung fehlerhafter Signale sowie entsprechender Detektoren und Subsystemkomponenten, die für die Ausgabe solcher fehlerhaften Signale verantwortlich sind, miteinander verglichen werden. In einem Schritt 120 werden die (in dem Schritt 100 angesammelten) Basisreferenzdatendateien unter Verwendung eines Korrelationsoperators zur Bereitstellung einer automatischen Fehleridentifizierung mit den (in dem Schritt 100 angesammelten) derzeitigen Datendateien verglichen. Die Ergebnisse der Korrelationsoperation werden in einem Schritt 130 zur Identifizierung defekter Subsystemkomponenten verwendet. Schließlich informiert das Diagnosesystem der Erfindung in einem Schritt 140 einen Benutzer über die möglichen defekten Komponenten und basierend auf den identifizierten Defekten empfohlene Reparaturprozeduraktionen. Die Schritte 120-140 können in Form eines verarbeiteten Anwendungsprogramms oder eines ausführbaren Satzes von Anweisungen verwirklicht sein, die auf einem Computer laufen. Bei dem das Diagnoseprogramm der Erfindung ausführenden Computer kann es sich um jeden Computer, der zur Ausführung aufeinanderfolgender Programmausführungen in der Lage ist, einschließlich von Außendiensttechnikern verwendeter tragbarer Computer oder einen bei der Benutzerkonsole vorgesehenen Computer handeln.

Im allgemeinen treten Defekte am wahrscheinlichsten bei einem oder mehreren der Detektoren und/oder Tochterkarten der VFSC-Platinen auf. Entsprechend kann das Diagnoseprogramm vor einem Fortfahren mit der Diagnose anderer Subsystemkomponenten die angesammelten Datendateien zuerst zur Bestimmung, ob der Defektzustand von entweder fehlerhaften Detektoren oder fehlerhaften VFSC-Tochterkarten verursacht wird, analysieren. Dies kann erreicht werden, indem eine der derzeitigen Datendateien wie beispielsweise die derzeitige DETF-Datendatei analysiert wird. Falls Basisreferenzdatendateien verfügbar sind, wird eine mathematische Korrelationsoperation zwischen der Basis-DETF-Datendatei und der derzeitigen DETF-Datendatei ausgeführt. Die Datendateien können in Form einer Matrix von Meßwerten wie beispielsweise Bildelementwerten organisiert sein. In dem Schritt 120 gibt die Korrelationsoperation Korrelationswerte zurück, von denen jeder den Arbeitszustand eines entsprechenden Detektors kennzeichnet. Die Korrelationswerte werden erhalten, indem alle Bildelementwerte P_{ik} der derzeitigen DETF-Datendatei mit den Bildelementwerten B_{ik} der Basisreferenz-DETF-Daten korreliert werden. Die Korrelationsmatrix C_{ik} stellt sich wie folgt dar:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, B_{ik}),$$

wobei es sich bei P_{ik} um den Bildelementwert der derzeitigen Datendatei für den i-ten Detektor und das k-te Profil und bei B_{ik} um den Bildelementwert der Basisreferenzdatendatei handelt.

Jeder einzelne Korrelationswert stellt dar, wie genau die verarbeiteten Ausgangssignaldaten eines einzelnen Detek-

BEST AVAILABLE COPY

tors zu Daten passen, die ausgegeben würden, falls das bildgebende System fehlerfrei arbeiten würde. In dem Schritt 130 werden die bei der Korrelationsmatrix abgeleiteten Korrelationswerte daraufhin mit einer Schwelle zur Identifizierung fehlerhafter Komponenten verglichen. Der jedem der Detektoren zugeordnete Korrelationswert wird aufeinanderfolgend untersucht, und falls der Korrelationswert unter einer Schwelle liegt, wird der entsprechende Detektor als verdächtig gekennzeichnet. Auf diese Weise werden die Eigenschaften jedes Detektors bewertet, und es wird eine Liste verdächtiger Detektoren erzeugt.

Vor einer Ausführung von Korrelationsoperationen zwischen Basisreferenzdatendateien und derzeitigen Datendateien werden die Datendateien vorzugsweise analysiert und in einer spezifischen Form formatiert. Wenn einmal Datendateien aus verschiedenen Abbildungsstadien angesammelt sind, wird jede einzelne Datendatei zur Entfernung von nicht zur Rekonstruktion eines Bilds erforderlichen Teilen der Datendatei analysiert. Die entfernten Teile der Daten können z. B. Kopfzeilen, Kalibrationsdaten, Position des Portals, verschiedenen Detektoren zugewiesene Nummern und andere verschiedenartige Informationen umfassen. Wenn die Teile der Datendatei einmal entfernt sind, wird ein Muster eines abgetasteten Objekts identifiziert. Da das runde Kalibrationsphantom zur Erzeugung dieser Datendateien verwendet wird, wird angenommen, daß das abgetastete Objekt rund ist. Zur Rekonstruktion eines runden Bilds mit der Datendatei wird jedes einzelne Profil in der Datendatei normalisiert, derart daß zur gemeinsamen Erzeugung eines Kreises der Mittelpunkt jedes Profilbilds mit Bezug auf Mittelpunkte anderer Profilbilder zentriert wird. Nach Normalisierung der Datendatei wird jedes einzelne Profil in verschiedenen Fächern angesammelt, derart daß jedes Fach bei einem Abtastwinkel erhaltene verarbeitete Ausgangsdetektorsignale enthält. Somit umfaßt jede Datendatei eine Anzahl von Fächern zum Halten des gesamten zur Rekonstruktion eines Querschnittbilds erforderlichen Profilsatzes. Die Daten in jedem einzelnen Fach können formatiert werden, derart daß die verarbeiteten Ausgangssignale in der gleichen Reihenfolge wie die entsprechenden für die Erzeugung solcher Ausgangssignale verantwortlichen Detektoren angeordnet werden. Im allgemeinen können Daten von jeder CT-Maschine in diesem Format formatiert werden. Die neu formatierte derzeitige Datendatei wird daraufhin zur Identifizierung von Detektoren und anderen Komponenten, deren Ausgangssignale verdächtig sind, mit den neu formatierten Basisreferenzdatendateien verglichen.

In vielen Fällen können die Basisstandarddatendateien nicht verfügbar sein. Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung kann das bildgebende System selbst dann diagnostiziert werden, wenn keine Basisreferenzdatendateien verfügbar sind, mit denen Korrelationsoperationen ausgeführt werden können. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 veranschaulicht ein Flußdiagramm die zur Diagnose des bildgebenden Systems erforderlichen allgemeinen Schritte, wenn keine Basisstandarddatendateien zur Ausführung von Korrelationsoperationen verfügbar sind. In diesem Fall und in einem Schritt 200 werden mit einem nahe dem Mittelpunkt des Blickfelds für eine Axialabtastung angeordneten Kalibrationsphantom derzeitige Datendateien bei verschiedenen Abbildungsstadien angesammelt, nachdem ein Fehler vermutet wird. Das Phantom wird vorzugsweise auf dem Portaltisch angeordnet, wobei die Position des Tisches eingestellt wird, so daß das zur Patientenorientierung während der Abtastung verwendete Axialaschericht bei dem Mittelabschnitt des Kalibrationsphantoms angeordnet ist. Jede der derzeitigen Datendateien umfaßt einen zur Rekonstruktion eines Querschnittbilds erforderlichen vollständigen Profilsatz, wobei

jedes Profil bei einem speziellen Abtastwinkel angesammelt, von den Detektoren ausgegebene Intensitätsmeßsignale umfaßt. Fehlerhafte Komponenten werden identifiziert, indem eine Korrelationsoperation zwischen der derzeitigen Datendatei und durchschnittlichen Profilwerten ausgeführt wird, wobei jeder durchschnittliche Profilwert abgeleitet wird, indem der Durchschnitt von Bildelementwerten aller Detektoren bei jedem jeweiligen Profil gebildet wird. In einem Schritt 210 werden durchschnittliche Profilwerte P_k berechnet wie folgt:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ik}}{i},$$

wobei es sich bei P_{ik} um den Bildelementwert für den i-ten Detektor und das k-te Profil handelt und der Wert für i abhängig davon, ob es sich bei dem bildgebenden System um ein IQ- oder PQ-System von Picker handelt, entweder 1200 oder 4800 ist.

Als nächstes werden in einem Schritt 220 Korrelationswerte erhalten, indem alle Bildelementwerte P_{ik} mit durchschnittlichen Profilwerten P_k verglichen werden. Die Korrelationsmatrix ist gegeben durch

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, P_k).$$

In einem Schritt 230 werden die bei der Korrelationsmatrix abgeleiteten Werte daraufhin zur Identifizierung einer Komponente oder mehrerer Komponenten, die einer fehlerhaften Operation verdächtig sind, gegen eine Schwelle überprüft. Schließlich zeigt das Diagnosesystem in einem Schritt 240 mögliche defekte Komponenten an und empfiehlt basierend auf den identifizierten Defekten Reparaturprozedurationen.

Zur Identifizierung von durch andere Subsystemkomponenten verursachten Defekten wird ein Mustererkennungsalgorithmus auf die verdächtigen Detektoren angewendet. Gewisse Muster verdächtiger Detektoren können einem Fehler anderswo in dem CT-System zuzuschreiben sein. Falls das Muster der verdächtigen Detektoren zu einem der vorbestimmten Muster paßt, kann dies angegeben, daß die fehlerhaften Signale von einem Defekt bei einer der Subsystemkomponenten verursacht werden, z. B. einem Defekt bei einer der auf den VFSC-Platinen liegenden Tochterkarten. Wenn eine der Tochterkarten defekt ist, ist die Signatur bei der derzeitigen Datendatei derart, daß die fehlerhaften Ausgangssignale in gleichen Intervallen beabstandet sind.

Somit können Muster fehlerhafter Ausgangssignale bei der derzeitigen Datendatei zur Identifizierung gewisser Subsystemkomponenten verwendet werden, die defekt sind.

Bei einem Ausführungsbeispiel kann das Diagnoseprogramm eine Datenbank zur Speicherung von Musterinformationen zum Vergleich mit den identifizierten verdächtigen Detektoren verwenden. Wenn einmal alle Detektoren getestet sind, wird das Diagnosesystem zum Durchsuchen der Datenbank und zur Erzeugung empfohlener Reparaturprozeduren basierend auf einem Muster oder mehreren Mustern, zu denen die verdächtigen Detektoren passen, konfiguriert.

Die vorstehend beschriebenen Muster sind spezifisch für eine CT-Maschine der vierten Generation aus der Q-Serie von Picker, d. h. IQ- und PQ-Systeme von Picker. Im allgemeinen würde jedoch eine für einen speziellen Hersteller bildgebender Ausstattung spezifische Mustererkennung angewendet werden, da die Muster hardwarespezifisch sind.

Als Beispiel kann es sich bei dem diagnostizierten bildgebenden System um ein bildgebendes IQ-System von Picker

BEST AVAILABLE COPY

handeln, das drei VFSC-Platinen umfaßt. Einhundert Tochterkarten liegen auf jeder der VFSC-Platinen, wobei jede einzelne Tochterkarte entfernt und durch eine andere Tochterkarte ersetzt werden kann. Das IQ-System weist 120 Detektoren auf, von denen jeder einer von 300 Tochterkarten zugeordnet ist. Genauer ist jede Tochterkarte für vier Detektoren verantwortlich, von denen jeder durch 300 Detektoren getrennt ist. Falls eine der Tochterkarten bei dem IQ-System defekt ist, ist die Signatur bei der Datendatei derart, daß verdächtige Detektoren 300 Detektoren auseinander sind. Falls die Detektornummern 1, 301, 601 und 901 zugeordneten Ausgangssignaldaten fehlerhaft sind, zeigt dies somit an, daß die für die Kanalisierung der Ausgangssignale von den Detektoren verantwortliche Tochterkarte defekt ist.

Als weiteres Beispiel kann es sich bei dem diagnostizierten bildgebenden System um ein bildgebendes PQ-System von Picker handeln, das zwölf VFSC-Platinen und 4800 Detektoren aufweist; jeder jeweilige Detektor ist einer von 1200 Tochterkarten zugeordnet. Bei dem PQ-System entspricht eine der Tochterkarten z. B. Detektornummern 1, 1201, 2401 und 3601. Falls ein Satz von vier verdächtigen Detektoren gefunden wird, wobei jeder verdächtige Detektor durch 1200 Detektoren getrennt ist, zeigt dies somit an, daß eine Tochterkarte auf einer der VFSC-Platinen defekt ist. Durch Ausführung der passenden Modulo-Arithmetik ist es möglich, die Nummer der VFSC-Platine, die Nummer der Tochterkarte und die Nummer des Kanals auf der Tochterkarte zu bewerten. Die grafische Benutzeroberfläche wird verwendet, um zu empfehlen, daß eine solche VFSC-Platine oder Tochterkarte zu ersetzen ist.

Der Mustererkennungsalgorithmus wird ferner zur Identifizierung eines von einem der Detektormodule, von denen jedes aus einem Satz von zehn benachbarten Detektoren besteht, verursachten Defekts verwendet. Falls ein Muster von zehn benachbarten verdächtigen Detektoren auftritt, dessen Anfangsdetektornummer ein Vielfaches von Zehn ist, kann dies angegeben, daß ein entsprechendes Detektormodul defekt ist. In einem solchen Fall wird der Außendiensttechniker zur Ersetzung des Detektormoduls aufgefordert, wie es durch Nachrichten von der grafischen Benutzeroberfläche umrissen ist.

Falls die Korrelationswerte der Korrelationsmatrix nicht zu einem der vorstehend beschriebenen vorgeschriebenen Muster passen, kann dies einen Defekt eines einzelnen Detektors angeben. In diesem Fall kann das dem fehlerhaften Detektor entsprechende Detektormodul ersetzt werden. Alternativ kann die Detektornummer in eine Systemkonfigurationsdatei fehlerhafter Detektornummern aufgenommen werden. Das bildgebende CT-System verwendet die fehlerhaften Detektornummern zum Ignorieren von von solchen fehlerhaften Detektoren erzeugten Daten und zur Einsetzung eines durch Durchschnittsbildung bei zwei benachbarten Detektoren jedes jeweiligen fehlerhaften Detektors abgeleiteten Werts. Das Diagnoseprogramm identifiziert den Defekt des einzelnen Detektors und stellt über die Benutzerschnittstelle Anweisungen für einen Benutzer bereit, um entweder das Detektormodul zu ersetzen oder die Detektornummer in die Systemkonfigurationsdatei fehlerhafter Detektornummern aufzunehmen.

Wenn einmal die passende Reparaturprozedur ausgeführt ist, werden zur Sicherstellung, daß der richtige Defektmodus identifiziert ist, noch einmal unter Verwendung des runden Wasserphantoms Datendateien angesammelt. Falls immer noch ein Bildqualitätsproblem vorhanden ist, werden die an verschiedenen Punkten der Abbildungskette erzeugten Datendateien zur Identifizierung zusätzlicher fehlerhafter Komponenten noch einmal analysiert.

Unter Bezugnahme auf Fig. 4 ist eine zur Anzeige fehler-

hafter Komponenten verwendete Benutzerschnittstelle 400 gezeigt. Die Benutzerschnittstelle 400 umfaßt Symbole 402-416, die verschiedene Subsystemkomponenten darstellen. Die Benutzerschnittstelle ermöglicht es einem Benutzer, einen Test einer speziellen Komponente durch Auswahl des einer solchen Komponente entsprechenden Symbols zu beginnen. Eine Angabe bezüglich dessen, ob eine spezielle Komponente richtig oder nicht richtig funktioniert, kann symbolisch dargestellt werden; z. B. kann zur Angabe, daß die entsprechende Komponente richtig funktioniert, ein grüner Kasten um ein Symbol gezeichnet werden, und zur Angabe eines möglichen Defekts kann ein roter Kasten um ein Symbol gezeichnet werden. Die Benutzerschnittstelle umfaßt ferner mehrere Fensterfelder. Das erste Fensterfeld 418 wird zur Mitteilung ausführlicher Informationen über den Analyse- und Defektzustand der defekten Subsystemkomponente verwendet. Das Diagnosesystem ist zur Erzeugung einer empfohlenen Reparaturprozedur basierend auf durch Ausführung der Korrelationsoperation und des Mustererkennungsalgorithmus identifizierten fehlerhaften Detektoren und verdächtigen Subsystemkomponenten konfiguriert. Die empfohlenen Reparaturprozeduraktionen werden in dem zweiten Fensterfeld 420 angezeigt. Während der Diagnose des bildgebenden Systems kann die Bedienungsperson Kommentare wie beispielsweise eine kurze Beschreibung der möglichen Ursache des Problems und eine Bestätigung, daß das Problem gelöst ist, in das dritte Fensterfeld 422 eingeben.

Wieder unter Bezugnahme auf Fig. 3 kann, falls die Analyse der derzeitigen DETF-Datendatei keinen Defekt angibt, dies angegeben, daß die vorherigen Komponenten 300, 302, 304 und 306 richtig funktionieren und der Systemdefekt von den Detektorfächerdaten nachfolgenden Komponenten 308, 310, 312 und 314 verursacht wird. In einem solchen Fall werden Daten an anderen nachfolgenden Punkten in der Abbildungskette 324, 326 und 328 angesammelt. Wenn die Daten einmal angesammelt sind, wird die das Problem verursachende Komponente bestimmt, indem die Komponente identifiziert wird, die gute Eingangsdaten empfängt aber schlechte Daten ausgibt. Falls z. B. die den derzeitigen DETF-Daten zugeordneten Korrelationswerte keinen Defekt angeben, werden die von einer der nachfolgenden Komponenten, z. B. den AP-Platinen, erzeugten Ausgaben zur Bestimmung, ob die AP-Platinen richtig funktionieren, mit einer entsprechenden Referenzdatendatei verglichen.

Während die vorstehenden bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben und gezeigt sind, ist es selbstverständlich, daß Fachleuten, die die Erfindung betrifft, Veränderungen und Modifikationen wie beispielsweise die vorgeschlagenen und andere im Rahmen des Inhalts und Schutzbereichs der Erfindung einfallen können. Der Schutzbereich der Erfindung ist entsprechend zu definieren, wie er in den beigefügten Patentansprüchen angegeben ist.

Es wird ein Diagnosesystem zur Identifizierung von Fehlern bei einem Nicht-OEM-Computertomographiesystem mit einer Anzahl von Ausgangssignale erzeugenden Detektoren und anderen Komponenten in Verbindung mit den Detektoren zur Rekonstruktion eines Bilds aus den Ausgangssignalen der Detektoren bereitgestellt. Basisreferenzdatendateien werden bei verschiedenen Abbildungsstadien angesammelt, während das CT-System richtig arbeitet. Daraufhin werden Korrelationswerte abgeleitet, indem eine Korrelationsoperation zwischen den Basisreferenzdatendateien und nach Vermutung eines Fehlers bei dem CT-System angesammelten derzeitigen Datendateien ausgeführt wird. Die Korrelationswerte werden zur Identifizierung von einem Defekt verdächtigen Detektoren mit einer Schwelle verglichen. Zur Be-

BEST AVAILABLE COPY

stimmung, ob die verdächtigen Detektoren tatsächlich fehlerhaft sind oder ob das Problem von einem Defekt bei einer der die Ausgangssignale von den verdächtigen Detektoren nicht richtig verarbeitenden Komponenten verursacht wird, wird ein Mustererkennungsalgorithmus auf die verdächtigen Detektoren angewendet. Falls keine Basisstandarddateien verfügbar sind, wird die Identifizierung fehlerhafter Komponenten durch Ausführung einer Korrelationsoperation zwischen den derzeitigen Datendateien und durchschnittlichen Profilwerten erreicht, wobei jeder durchschnittliche Profilwert durch Durchschnittsbildung bei Intensitätssignalwerten aller Detektoren bei jedem jeweiligen Profil abgeleitet wird.

Patentansprüche

1. Diagnosesystem zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden System mit einer Vielzahl von Ausgangssignale erzeugenden Detektoren und einer Vielzahl von Komponenten in Verbindung mit den Detektoren zur Rekonstruktion von Bildern aus den von der Vielzahl von Detektoren erzeugten Ausgangssignalen mit:
einem Speicher, der zumindest eine derzeitige Datendatei speichert, die von einer der Vielzahl von Komponenten nach Vermutung eines Fehlers bei dem bildgebenden System ausgegebene Daten umfaßt; und
einer Verarbeitungseinrichtung in Verbindung mit dem Speicher zur Verarbeitung der zumindest einen derzeitigen Datendatei zur Identifizierung eines fehlerhaften Detektors und einer fehlerhaften Komponente.
2. Diagnosesystem nach Anspruch 1, wobei das Diagnosesystem zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden Nicht-OEM-System unter Verwendung lediglich in der zumindest einen derzeitigen Datendatei enthaltener nicht proprietärer Informationen verwendet wird.
3. Diagnosesystem nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei zumindest eines der folgenden umfaßt:
Detektorausgangssignaldaten, Quellenfächerdaten, Detektorfächerdaten, gefilterte Daten, zusammengeordnete Daten und Bilddaten.
4. Diagnosesystem nach Anspruch 1, wobei das bildgebende System ein Computertomographiesystem mit einer einen Fächerstrahl von Strahlung projizierenden Strahlungsquelle ist und die von den Detektoren erzeugten Ausgangssignale proportional zu der Intensität der bei jedem jeweiligen Detektor auftreffenden Strahlung sind.
5. Diagnosesystem nach Anspruch 4, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei eine Vielzahl von bei einer Vielzahl von Abtastwinkeln angesammelten Profilen umfaßt und jedes jeweilige der Vielzahl von Profilen Intensitätssignale von jedem der Detektoren darstellende Meßwerte umfaßt, wobei die Vielzahl von Profilen zur Rekonstruktion eines Querschnittsbilds verwendet wird.
6. Diagnosesystem nach Anspruch 4, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei eine Vielzahl von derzeitigen Meßwerten P_{ik} umfaßt, wobei jeder der Meßwerte P_{ik} den von dem i-ten Detektor bei dem k-ten Profil erzeugten Signalen entspricht.
7. Diagnosesystem nach Anspruch 6, wobei die Verarbeitungseinrichtung zur Berechnung durchschnittlicher Profilwerte P_k konfiguriert ist, die berechnet werden wie folgt:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ik}}{i}$$

8. Diagnosesystem nach Anspruch 7, wobei die Verarbeitungseinrichtung zum Erhalten von Korrelationswerten durch Korrelation der Meßwerte P_{ik} mit den durchschnittlichen Profilwerten P_k konfiguriert ist, wobei die Korrelationswerte berechnet werden wie folgt:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, P_k).$$

9. Diagnosesystem nach Anspruch 8, wobei die Korrelationswerte zur Identifizierung fehlerhafter Operationen verdächtiger Detektoren mit einer Schwelle verglichen werden.

10. Diagnosesystem nach Anspruch 9, wobei die Verarbeitungseinrichtung zur auf den Korrelationswerten basierenden Bestimmung, ob ein vorbestimmtes Muster verdächtiger Detektoren aufgetreten ist, konfiguriert ist und wobei ferner die Verarbeitungseinrichtung zur Identifizierung einer einem solchen vorbestimmten Muster entsprechenden fehlerhaften Komponente konfiguriert ist.

11. Diagnosesystem nach Anspruch 6, wobei der Speicher zumindest eine Basisreferenzdatendatei speichert, die von einer der Vielzahl von Komponenten während eines richtigen Arbeitens des bildgebenden Systems ausgegebene Daten umfaßt.

12. Diagnosesystem nach Anspruch 11, wobei die zumindest eine Basisreferenzdatendatei eine Vielzahl von Basisreferenzmeßwerten B_{ik} umfaßt, wobei jeder der Basisreferenzmeßwerte B_{ik} den von dem i-ten Detektor bei dem k-ten Profil erzeugten Signalen entspricht.

13. Diagnosesystem nach Anspruch 12, wobei die Verarbeitungseinrichtung zum Erhalten von Korrelationswerten durch Korrelation der derzeitigen Meßwerte P_{ik} mit den Basisreferenzmeßwerten B_{ik} konfiguriert ist, wobei die Korrelationswerte berechnet werden wie folgt:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, B_{ik}).$$

14. Diagnosesystem nach Anspruch 13, wobei die Korrelationswerte zur Identifizierung fehlerhafter Operationen verdächtiger Detektoren mit einer Schwelle verglichen werden.

15. Diagnosesystem nach Anspruch 14, wobei die Verarbeitungseinrichtung zur auf den Korrelationswerten basierenden Bestimmung, ob ein vorbestimmtes Muster verdächtiger Detektoren aufgetreten ist, konfiguriert ist und wobei ferner die Verarbeitungseinrichtung zur Identifizierung einer einem solchen vorbestimmten Muster entsprechenden fehlerhaften Komponente konfiguriert ist.

16. Diagnosesystem nach Anspruch 1, ferner mit einer Benutzerschnittstelle in Verbindung mit der Verarbeitungseinrichtung zur Anzeige möglicher fehlerhafter Komponenten bei dem Computertomographiesystem und empfohlener Reparaturprozeduraktionen basierend auf identifizierten Defekten.

17. Diagnosesystem zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden Nicht-OEM-System ohne Verwendung proprietärer Informationen, wobei das bildgebende Nicht-OEM-System eine Vielzahl von Ausgangssignale erzeugenden Detektoren und eine Vielzahl von Komponenten in Verbindung mit den Detek-

loren zur Rekonstruktion von Bildern aus den von der Vielzahl von Detektoren erzeugten Ausgangssignalen aufweist, mit:

einer Einrichtung zur Ansammlung zumindest einer derzeitigen Datendatei, die von einer der Vielzahl von Komponenten nach Vermutung eines Fehlers bei dem bildgebenden System ausgegebene Daten umfaßt, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei von der Vielzahl von Detektoren bei einer Vielzahl von Abtastwinkeln erzeugte verarbeitete Ausgangssignale umfaßt;
einer Einrichtung zum Erhalten zumindest einer Basisreferenzdatendatei, die Daten umfaßt, die von der einen der Vielzahl von Komponenten ausgegeben würden, falls das bildgebende System fehlerfrei arbeiten würde; einer Einrichtung zum Vergleich der zumindest einen derzeitigen Datendatei mit der zumindest einen Basisreferenzdatendatei unter Verwendung einer Korrelationsoperation zur Erzeugung von Korrelationswerten; und
einer Einrichtung zur auf den Korrelationswerten basierenden Identifizierung eines fehlerhaften Detektors und einer fehlerhaften Komponente.

18. Diagnosesystem nach Anspruch 17, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei zumindest eines der folgenden umfaßt: Detektorausgangssignaldaten, Quellenfächerdaten, Detektorfächerdaten, gefilterte Daten, zusammengerollte Daten und Bilddaten.

19. Diagnosesystem nach Anspruch 17, wobei die zumindest eine Basisreferenzdatendatei erhalten wird, während das bildgebende System richtig arbeitet, indem von einer der Vielzahl von Komponenten ausgegebene Daten angesammelt werden.

20. Diagnosesystem nach Anspruch 17, wobei: die zumindest eine derzeitige Datendatei eine Vielzahl von derzeitigen Meßwerten P_{ik} umfaßt, wobei jeder der Meßwerte P_{ik} ursprünglich von dem i-ten Detektor bei dem k-ten Profil ausgegebenen verarbeiteten Signalen entspricht; die zumindest eine Basisreferenzdatendatei durch Berechnung durchschnittlicher Profilwerte P_k erhalten wird, die berechnet werden wie folgt:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ik}}{i};$$

die Korrelationswerte durch Korrelation der Meßwerte P_{ik} mit den durchschnittlichen Profilwerten P_k erhalten werden, wobei die Korrelationswerte berechnet werden wie folgt:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, P_k).$$

21. Diagnoseverfahren zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden System mit einer Vielzahl von Ausgangssignalen erzeugenden Detektoren und einer Vielzahl von mit den Detektoren verbundenen Komponenten zur Rekonstruktion von Bildern aus den von den Detektoren erzeugten Ausgangssignalen mit den Schritten:

Ansammeln zumindest einer derzeitigen Datendatei, die von einer der Vielzahl von Komponenten nach Vermutung eines Fehlers bei dem bildgebenden System ausgegeben wird; und

Verarbeiten der zumindest einen derzeitigen Datendatei zur Identifizierung möglicher fehlerhafter Detektoren

und Komponenten.

22. Diagnoseverfahren nach Anspruch 21, wobei das Diagnoseverfahren zur Identifizierung von Fehlern bei einem bildgebenden Nicht-OEM-System unter Verwendung lediglich aus der angesammelten zumindest einen derzeitigen Datendatei extrahierter nicht proprietärer Informationen verwendet wird.

23. Diagnoseverfahren nach Anspruch 21, wobei das bildgebende System ein Computertomographiesystem mit einer einen Fächerstrahl von Strahlung projizierenden Strahlungsquelle ist und die von den Detektoren erzeugten Ausgangssignale proportional zu der Intensität der bei jedem jeweiligen Detektor auftreffenden Strahlung sind.

24. Diagnoseverfahren nach Anspruch 23, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei eine Vielzahl von bei einer Vielzahl von Abtastwinkeln angesammelten Profilen umfaßt und jedes jeweilige der Vielzahl von Profilen bei einem entsprechenden Abtastwinkel von den Detektoren empfangene Ausgangssignale umfaßt, wobei die Vielzahl von Profilen zur Rekonstruktion eines Querschnittsbilds verwendet wird.

25. Diagnoseverfahren nach Anspruch 23, wobei die zumindest eine derzeitige Datendatei eine Vielzahl von derzeitigen Meßwerten P_{ik} umfaßt, wobei jeder der Meßwerte P_{ik} den von dem i-ten Detektor bei dem k-ten Profil erzeugten Signalen entspricht.

26. Diagnoseverfahren nach Anspruch 25, ferner mit den Schritten:

Berechnen durchschnittlicher Profilwerte P_k , die berechnet werden wie folgt:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ik}}{i};$$

Berechnen von Korrelationswerten durch Korrelation der Meßwerte P_{ik} mit den durchschnittlichen Profilwerten P_k , wobei die Korrelationswerte berechnet werden wie folgt:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, P_k);$$

Vergleichen der Korrelationswerte mit einer Schwelle zur Identifizierung fehlerhafter Operationen verdächtiger Detektoren.

27. Diagnoseverfahren nach Anspruch 26, ferner mit den Schritten:

Bestimmen, ob eines aus einer Vielzahl von vorbestimmten Mustern verdächtiger Detektoren aufgetreten ist; und

Identifizieren einer dem vorbestimmten Muster entsprechenden fehlerhaften Komponente.

28. Diagnoseverfahren nach Anspruch 21, ferner mit dem Schritt des Ansammelns zumindest einer von einer der Vielzahl von Komponenten während eines richtigen Arbeitens des bildgebenden Systems ausgegebene Basisreferenzdatendatei.

29. Diagnoseverfahren nach Anspruch 28, wobei die zumindest eine Basisreferenzdatendatei eine Vielzahl von Basisreferenzmeßwerten B_{ik} umfaßt, wobei jeder der Basisreferenzmeßwerte B_{ik} den von dem i-ten Detektor bei dem k-ten Profil erzeugten Signalen entspricht.

30. Diagnoseverfahren nach Anspruch 29, ferner mit den Schritten:

Berechnen von Korrelationswerten durch Korrelation

der derzeitigen Meßwerte P_{ik} mit den Basisreferenzmeßwerten B_{ik} , wobei die Korrelationswerte berechnet werden wie folgt:

$$C_{ik} = \text{corr}(P_{ik}, B_{ik});$$

5

Vergleichen der Korrelationswerte mit einer Schwelle zur Identifizierung fehlerhafter Operationen verdächtiger Detektoren.

31. Diagnoseverfahren nach Anspruch 30, ferner mit 10
den Schritten:

Bestimmen, ob eines aus einer Vielzahl von vorbestimmten Mustern verdächtiger Detektoren aufgetreten ist; und

Identifizieren einer einem solchen vorbestimmten Muster 15
entsprechenden fehlerhaften Komponente.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

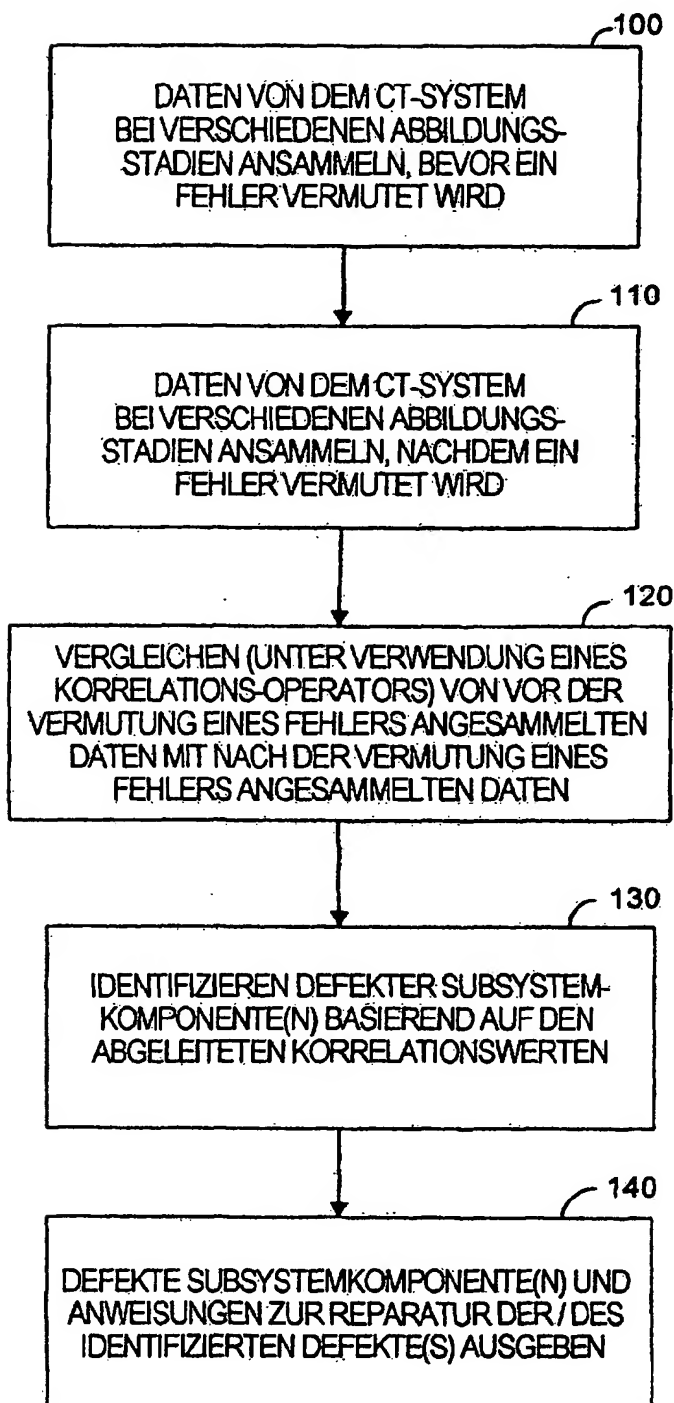
55

60

65

BEST AVAILABLE COPY

FIG. 1



BEST AVAILABLE COPY

FIG. 2

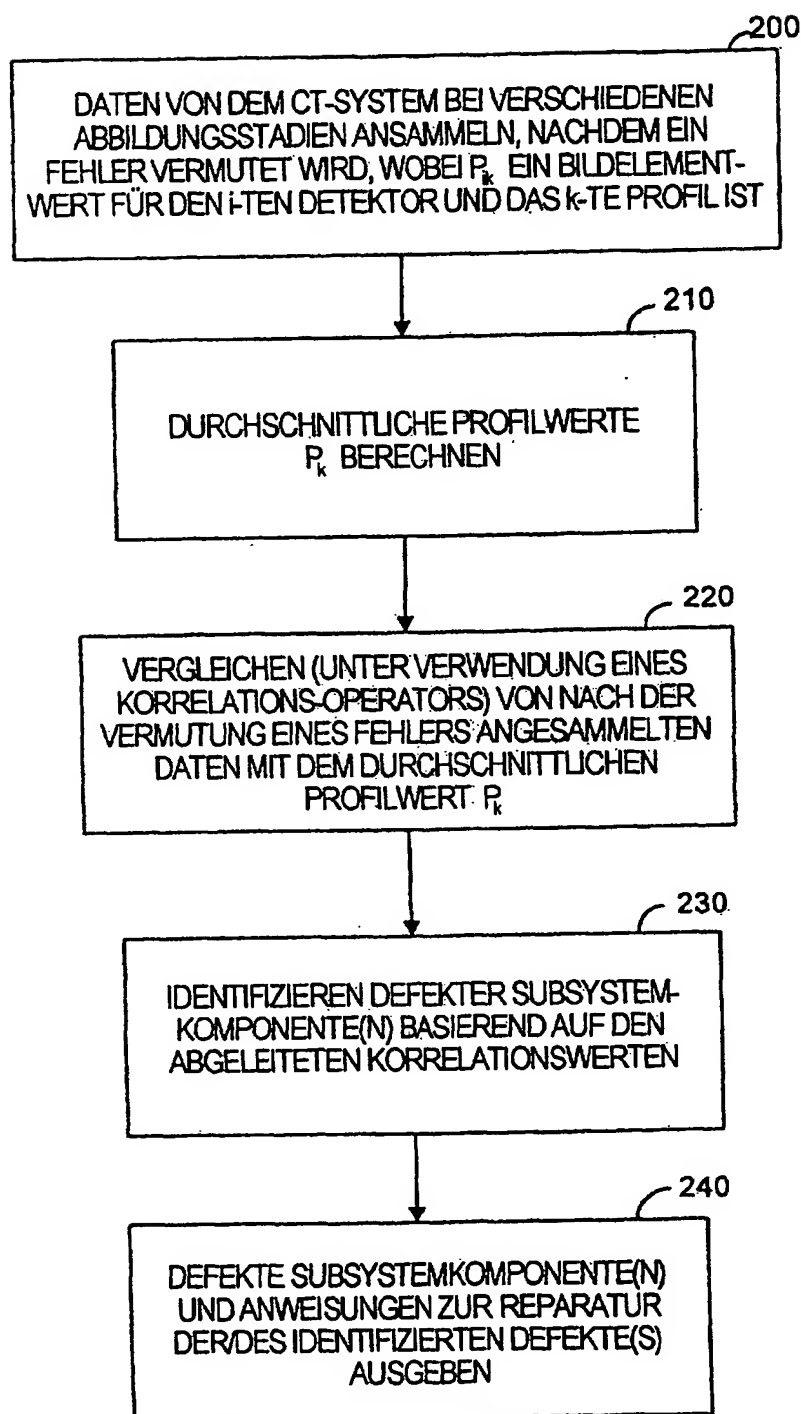


FIG. 3

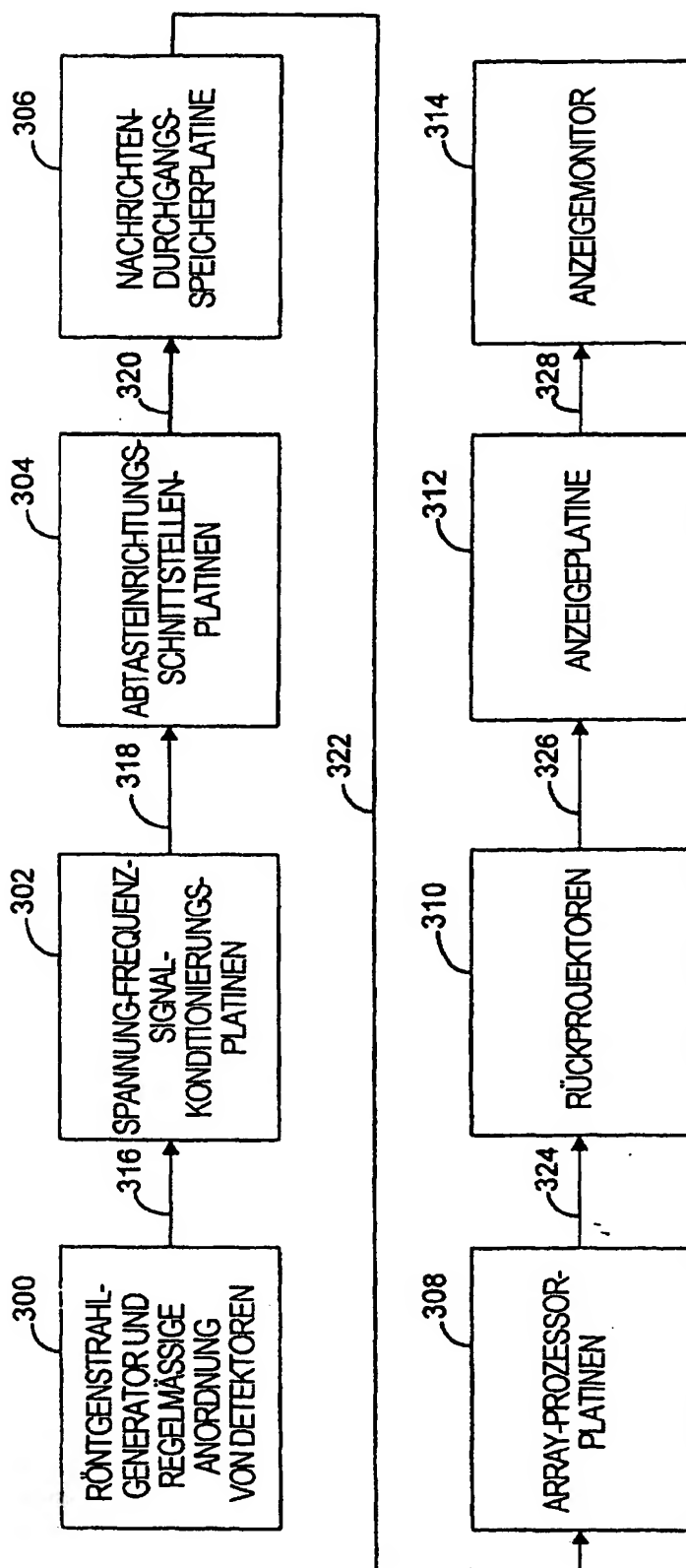


FIG. 4

